

## <寄書>^<24>Naによる浮選機内パルプ滞留時間の測定

著者	米澤 利明, 深見 謙二, 菅原 泰造
雑誌名	東北大学選鉱製錬研究所彙報 = Bulletin of the Research Institute of Mineral Dressing and Metallurgy, Tohoku University
巻	13
号	1
ページ	93-97
発行年	1957-07-30
URL	<a href="http://hdl.handle.net/10097/32301">http://hdl.handle.net/10097/32301</a>

# $^{24}\text{Na}$ による浮選機内パルプ滞留時間の測定

米澤利明\* 深見謙二\* 菅原泰造\*

Measurement of Residence Time of Ore Pulp in Flotation Cells Using  $^{24}\text{Na}$  as a Tracer. By Toshiaki YONEZAWA, Kenji FUKAMI and Taizo SUGAWARA.

The residence time of ore pulp in a number of cells, arranged in series, of the 300 mm × 300 mm flotation machines of Fahrenwald type, installed in the Central Research Laboratory of the Nippon Mining Co., Ltd. for testing purpose, has been investigated with  $^{24}\text{NaCl}$  as a radioactive tracer. After introducing about 200 of  $^{24}\text{NaCl}$ , weighing about 80 mg, into the part of the ore pulp fed continuously to the flotation cells and thus marking the water constituting the pulp, the intensity of activities of  $^{24}\text{Na}$  contained in the pulp from the tailing gates of two of the series of the cells was measured with a G-M counter. Then the specific concentration of  $^{24}\text{NaCl}$  varying with time was examined.

It has been found that the data obtained from the above investigation almost coincide with the values calculated from the following theoretical formula representing generally the concentration of marked flow of any material discharged from the stirred reactors of flow type, such as flotation cells:

$$C_n = C_0 \frac{e^{-Kt} K^{n-1} t^{n-1}}{(n-1)!},$$

where  $K = F/V$ ;  $F$  = rate of initial flow of a material fed into reactors;  $V$  = effective volume of one reactors;  $t$  = time;  $C_0$  = concentration of the marked material in the first reactor at time = 0;  $C$  = concentration of the marked material in the  $n$ th reactor at time =  $t$ .

It has been further revealed that the "flotation time",  $V/F$ , hitherto commonly adopted approximately agrees with the average residence time of the ore pulp either obtained in this experiment or obtained by the theoretical calculation.

In conclusion, it will be possible to simplify greatly the experimental procedures and the technique of measurement and at the same time to attain high accuracy in such experiments, if the radioactive  $^{24}\text{NaCl}$  is used as a physical tracer. So it is considered that  $^{24}\text{NaCl}$  may be widely utilized as a tracer in investigations of this kind.

(Received May 20, 1957)

## 1. 緒 言

化学工学の分野においては、諸種の化学反応過程の反応系内における滞留時間、接触時間、反応時間あるいは反応速度等の問題について既に理論的にもまた実験的にもかなりの解析がなされており、これらに関する幾多の発表も行われている<sup>1)~4)</sup>。浮游選鉱法は化学工学における動的または連続的流通式 (flow method) 攪拌反応型 (stirred reactor type) の反応様式と同一の範ちゅうに属する問題であるにかゝらず、選鉱の分野においては従来それ程深い検討がなされていないように概観される。

従来連続浮選操業における「浮選時間」は一般的には浮選機の有効容積  $V$  を単位時間當りの給鉱パルプの容量  $F$  で割った値をもつて示している<sup>5)</sup>。この定義は静的な回分型 (batch) 操業では正しいが、浮選操業が連続的に行はれる場合は浮選機内においてパルプが精鉱として浮選機外に溢流するものは別としても鉱粒の浮選機内滞留時間は一様ではなく、短時間のうちに排出されるものもあり、長時間にわたって滞留する粒子も存在する。従つて  $V/F$  で示される時間の値は

\* 日本鉱業株式会社中央試験所

1) 矢木 榮：化学過程と化学工学 (岩波講座，現代化学)，(1956)。

2) 宮内照勝：最近の化学工学，(1955)，85。

3) 大島幹雄：化学工学，17 (1935)，16。

4) J.C. Turgeon：Can. Mining Met. Bull. 525 (1956)，16。

5) 日本鉱業協会第6回選鉱青化製錬現場担当者會議議事録，(1956)，383。

粒子が浮選機内に滞留する時間の平均値を示すものであつて總ての粒子がこの時間だけ浮選機内に滞留することを示すものではない。

今同一有効容積 ( $V$ ) の直列に設置された  $n$  區の浮選機<sup>6)</sup> に常に一定容量のパルプ ( $F$ ) を連續通過させる時、浮選機の攪拌作用によつて新たに給礦されるパルプは瞬時にして槽内に均一に分散混和するとゆう假想のもとに、また浮選機の溢流フロスは無いと無視される條件のもとにある瞬間に第1槽目に給礦されたパルプ (以上特定パルプと稱す) が  $n$  區目から排出する濃度について (1) 式が成立しこの積分形として (2) 式が得られる。

$$\frac{C_{n-1}Fdt - C_nFdt}{V} = dC_n \dots\dots\dots (1)$$

$$C_n = C_0 \frac{e^{-Kt} K^{n-1} t^{n-1}}{(n-1)!} \dots\dots\dots (2)$$

ここに  $K : F/V$ ,

$F$  : 單位時間當り流量 (l/min),

$V$  : 浮選機1區當りの有効容積 (l),

$t$  : 時間 (min),

$C_0 : t=0$  における1區目の特定パルプの濃度,

$C_n : n$  區目における特定パルプの濃度。

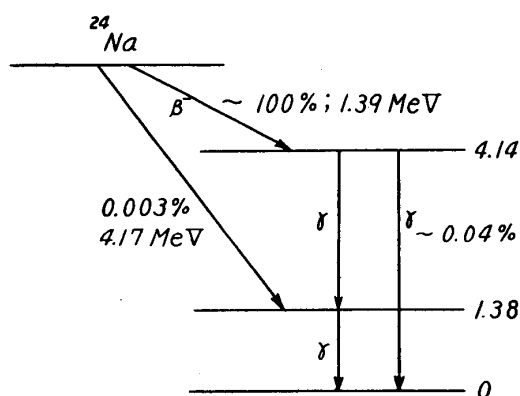
連續的操業における浮選時間の測定に關しては、浮選機内を浮選パルプ中の礦粒が水と全く同一の舉動をもつて流動通過するものと假定し、食鹽水を用いてその濃度の變化を電氣的または化學的に定量追跡した實例も報告されているが<sup>7)8)</sup>、本實驗では上述のパルプの標識付けを放射性食鹽 ( $\text{Na}^*\text{Cl}$ ) をもつて行い、でき得るかぎり上記の條件を正確に保ち  $n$  區目の槽から排出する放射性食鹽濃度を  $^{24}\text{Na}$  の有する放射線強度を経時的に測定することによつて、パルプの滞留狀況が上式に従うか否かを検討した。

## 2. トレーサーとしての $^{24}\text{Na}$

使用した  $^{24}\text{Na}$  は科研製の  $\text{Na}^*\text{Cl}$  (固體)  $210 \mu\text{C}$  であつてその比放射能は  $210 \mu\text{C}/80 \text{mg}$  であつた。

$^{24}\text{Na}$  を本實驗の場合にトレーサーとして用いれば次の利點がある。

(1)  $^{24}\text{Na}$  は第1圖の如き崩壊圖式 (decay scheme) を有し比較的高エネルギーの  $\beta$  線を



第1圖  $^{24}\text{Na}$  の崩壊圖式

放出しているので G-M 管計數裝置による測定によつても、檢出感度が高く液のまま測定ができる。本實驗においては放射能の強さの測定には液量  $10 \text{cc}$  をガラス製シャーレに採取して一定のジオメトリーにて測定したが、その際の計數効率は崩壊數の約1%であつてこれより計算すれば  $100 \text{cpm}$  の計數値を得るためには11中に約  $0.45 \mu\text{C}$  (約  $0.02 \text{mg}$ ) の僅少量の  $^{24}\text{Na}$  があればよいことになる。また本實驗においては  $\text{Na}^*\text{Cl}$   $80 \text{mg}$  を  $30 \text{cc}$  の少量の水に溶解して添加したが、このことは殆んど瞬間的にパルプに標識を與

えることができ、またパルプの流量を殆んど變化させることがなく精度の良い實驗を行うことができる。

(2) 豫かじめ本實驗に使用した銅、亞鉛礦石に對する  $\text{Na}^*\text{Cl}$  溶液中の  $^{24}\text{Na}$  の吸着の有無

6) 精選機は除外

7) 中村信一郎：日鐵，71 (1955)，529.

8) 日本鐵業會，第18回選礦研究會資料，(1956)。

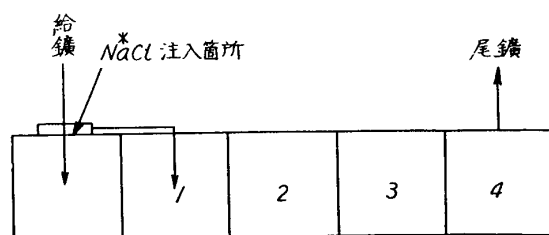
を試験したが、本測定条件の範囲内では吸着は認められなかつた。従つて  $\text{Na}^*\text{Cl}$  はパルプ中の水に均一に分散する。

(3)  $^{24}\text{Na}$  の半減期は周知の如く約 15 hr であるのでこれを現場において使用するときとしても約 4 日間放置すればその放射能の強さは 1/100 になり、実験後の人体障害について懸念される所が極めて少い利点がある。

なお  $^{24}\text{Na}$  は現在科研サイクロトロンにより毎週水曜日午後製造されており、日本放射性同位元素協会を通じて入手できるが上記の如くその半減期が約 15 hr であるので、本実験に際しては豫かじめ準備を整えておき入手後直ちに実験を行い、その夜のうちに測定も終了させた。

### 3. 測定の方法

実験に供した浮選機はファーレンワルド連続浮選試験機<sup>9)</sup> 4 区であつて、実験の方法としては第 2 圖の如く浮選機 4 区を直列に使用し (1) および (2) 式に準ずる条件になるべく近似させるために、溢流フロスは採取せず各区のゲートの高さを同一とし内容積を一定になるようにつとめた。なおフィードの量を一定にするために使用水は一定水頭のタンクからサイフォンによつて導いた。



第 2 圖 浮選機の配列および  $\text{Na}^*\text{Cl}$  注入箇所

実験は 2 回実施し、第 1 回目は水のみを毎分 6 l

の割合で連続通過させ、第 2 回目は銅、亜鉛鉱石を使用し、ボールミル、クラシファイヤーを通過パルプ濃度 21.4% 固體として毎分 6.12 l を浮選機に連続給鉱させて測定を行つた。浮選試薬は何れの場合も全く使用していない。

トレーサーとしての  $\text{Na}^*\text{Cl}$  (約  $200 \mu\text{C}$ 、重量約 80 mg) は 30 cc の水に溶解し第 2 圖の如く浮選機 1 区目直前のフィードパイプに注入した。 $\text{Na}^*\text{Cl}$  の注入には約 2 sec 間を要したが、この注ぎ始めを出発時として豫かじめ計畫した所定の時間毎に 1 区、4 区目の排出液を駒込ビペットで約 20 cc を素早く吸引採取しこのうちから (パルプの場合は上澄液) 更に 10 cc をホールビペットで正確に採取し、一定のジオメトリーで G-M 管により検液の放射線強度を測定しこの測定値から  $\text{Na}^*\text{Cl}$  の比濃度を求めた。この場合比濃度 100 % のときの計數値は 1,857 cpm であり、測定の精度は  $\pm 2\%$  である。

出発時 ( $t=0$ ) における第 1 区目内の  $\text{Na}^*\text{Cl}$  の比濃度は  $\text{Na}^*\text{Cl}$  の注入から第 1 区目浮選機に達する迄の時間的ずれがあるので、浮選機内におけるパルプの攪拌が理想的に行はれていてもその値は正確には 0 であるが、注入に要した時間、注入部から浮選機に達するまでの時間は極く短時間であると考えられるのでこれを無視し第 1 区目における排出液の  $\text{Na}^*\text{Cl}$  比濃度の實測値から外挿して  $t=0$  における  $\text{Na}^*\text{Cl}$  の比濃度を求めた。

このようにして測定した  $n$  区目の浮選機から排出する  $\text{Na}^*\text{Cl}$  の比濃度は  $t=0$  において第 1 区目の浮選機内に存在した水がその時刻に  $n$  区目の浮選機内に滞留している状況を示すものである。

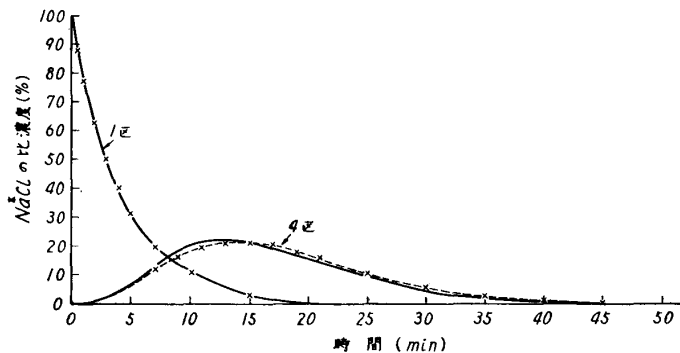
### 4. 測定結果および考察

上記の条件で実験を行い、検液 10 cc について測定した放射線強度からバックグラウンドを減じ、 $^{24}\text{Na}$  崩壊の補正を行い  $t=0$  における  $\text{Na}^*\text{Cl}$  の比濃度を 100% として計算した値を第 3 圖 (水のみ通過の場合) および第 4 圖 (鑛液通過) に示した。圖中の實線は (2) 式によつて計算されたパルプの滞留状況を示す曲線であり、測定値は  $\times$  印で示し破線で結んで示した。

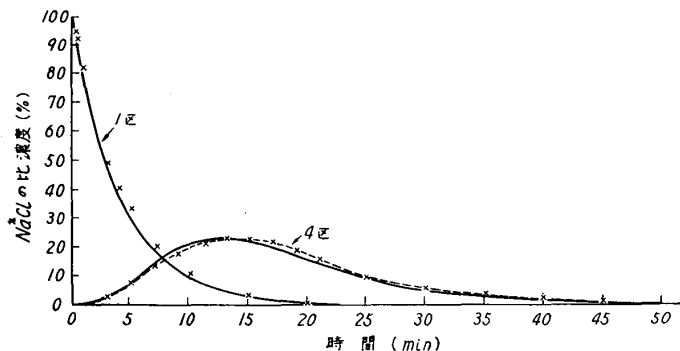
浮選機内における鑛粒の滞留状況が水と全く同一の挙動をとるものと假定し、ファーレンワ

9) セルの大きさ 300×300 mm, インペラーの直径 140 mm, インペラーの回転數 1070 rev/min, バックゲート型, 機械運轉時におけるパルプの實容積 25.65 l.

ド浮選試験機について水のみを連続通過せしめた場合および鑛液を通過せしめた場合について水の滞留状況を  $\text{Na}^*\text{Cl}$  溶液を用いて追跡した。その結果溢流フロスを採取しない状態においては



第3圖 水のみを通過させた場合の  $\text{Na}^*\text{Cl}$  の滞留状況



第4圖 鑛液を通過させた場合の  $\text{Na}^*\text{Cl}$  の滞留状況

兩者ともに、浮選機内におけるパルプの攪拌が完全であると假定した理論式に近似的によく一致していることが確められた。

従つて流體力學的に考慮した浮選機の眞の有効容積は機械運轉時における浮選機内のパルプ容積 ( $V$ ) に近似的に相等しく、從來の「浮選時間」 $V/F$  の値はパルプの平均滞留時間を近似的に正しく表はしていることになる。

水のみを通過させた場合とパルプを通過させた場合の差は認め難い。しかしながら第3, 4圖に示したように4区における理論値と實測値の時間的ずれは兩者ともに同様の傾向を示しており、この時間的ずれは浮選機の有効容積として測定した  $V$  のなかには假定に反し不完全攪拌の部分(槽と槽との連結パイプ、浮選機のゲートボックスおよびインレット

パイプ等)が存在することもその1因をなしているものと判断される。實驗による4区目排出液の測定値と  $F$  の値から逆に有効容積 ( $V^*$ )<sup>10)</sup> を求めれば  $V^* \approx 1.07V$ <sup>11)</sup> となり、不完全攪拌部分の存在その他の原因により7%の差が生じたものと考えられる。

氣泡に附着して浮上するものを除けば浮選機内における鑛粒は水と同一挙動をなすものと考えられるので、上述の結果から繰返しがなにか、または無視得る場合については鑛粒が浮選機内に滞留する確率密度分布を時間の函数としてかなり近似した値で計算し得ることが可能になり、從來パルプ滞留時間の關係から必ずしも明らかでなかつたバッチテストによる浮選時間と連続系における所要浮選機容量との關係、および浮選機を直列に使用すべきか並列に使用すべきかの問題等に對して解明の資料が與えられた。

10) 下記による  $V^*$  の求め方は日本鑛業會第18回選鑛研究會(1956)において東京大學今泉助教授により提示された。

すなわち實驗値から求めた有効容積を  $V^*$  とすれば

$$F/V^* = K^* \quad (3)$$

となり(2)式は

$$C_n = C_0 \frac{e^{-K^* t} K^{*n-1} t^{n-1}}{(n-1)!} \quad (4)$$

(4) 式を書きかえれば

$$C_n/t^{n-1} = A_0 e^{-K^* t} \quad (5)$$

$$\text{但し } C_0 \left[ \frac{K^{*n-1}}{(n-1)!} \right] = A_0 \text{ (一定)}$$

(5) 式は直線式なので  $\frac{C_n}{t^{n-1}}$  の値を半對數グラフ上にプロットし、その直線の勾配から  $K^*$  が得られ、この値を用い(3)式より  $V^*$  が求められる。

11) 水およびパルプ通過のいずれの場合も殆んど等しい値が得られた。

## 5. 總 括

以上のように  $^{24}\text{Na}$  を含む  $\text{Na}^*\text{Cl}$  溶液を用いてファーレンワルド浮選機内におけるパルプ滞留時間の測定を行い次のような結果が得られた。

(1)  $\text{Na}^*\text{Cl}$  の  $^{24}\text{Na}$  は鑛粒には吸着されず鑛石パルプ中の水に標識をつけて、これを追跡する場合において實用的に検出可能な  $\text{Na}^*\text{Cl}$  の濃度は検出限界を 10 cpm とすると約  $4.5 \times 10^{-5} \mu\text{C/cc}$  であり約 0.02 r/cc の微量となり浮選操業には何等の影響を與えることなく、實驗操作、測定法は簡易に行われ、また精度高い追跡實驗ができる特徴がある。

(2)  $\text{Na}^*\text{Cl}$  は本問題以外この種の實驗に對する物理的追跡子として利用範圍は廣いものと考える。

(3) 浮選機内におけるパルプの滞留時間は繰返しがないか無視し得る場合には、浮選機内におけるパルプの攪拌が完全であるとして計算した理論式にかなりよく一致しており、浮選機内に滞留する鑛粒の確率密度分布を時間の函數として計算することが可能になつた。

(4) 従つて從來の浮選時間  $V/F$  の値はパルプの平均滞留時間を近似的に正しく表はしているものである。

(5) しかし 4 區目の  $\text{Na}^*\text{Cl}$  排出濃度は、その差は僅少であるけれども理論値に對し規則的な時間的おくれが認められ、この差の生じた原因としては浮選機の有効容積として測定した  $V$  のなかに假定に反し攪拌不充分の部分が存在することもその一因をなしているものと判斷された。

本實驗は日本鑛業會、第18回選鑛研究會(昭和31年11月)、議題「浮選に關する諸問題」の一題目としてとり擧げられた「浮選時間の測定」の資料として、筆者らは  $^{24}\text{Na}$  を用いて實驗を行つたもので本問題を提起された東京大學、今泉常正助教授に對し深甚の感謝の意を表する。